

瀬戸内の島—香川県直島における水道現況と空気環境

苗村 晶彦・河田 知子¹

総合教養センター

はじめに

伊豆島弧の本州への衝突も継続中で、日本列島は今この瞬間も変動し続けている¹⁾。現在の日本の最高峰・富士山が誕生したのは約1万年前であるが、地球46億年の歴史からの割合では、僅か0.0000022%に過ぎない。地球の誕生や、大陸の出現などは気の遠くなるほどの歳月を経て成り立っているが、今後もプレートテクトニクスの考えから日本列島も変わり続ける。

日本列島は北海道、本州、四国、九州の4島および北方領土を加え6,852の島嶼から成る。これは島の外周0.1km以上を基準とした場合である。この内、瀬戸内海の中にある島の数約700にも及ぶ²⁾。地質時代というかなり長いスパンでは、今後は日本列島の地形もこの数も変化していくと考えられるが、瀬戸内海とは一般的には、友ヶ島水道（紀淡海峡）、鳴門海峡、豊予海峡、関門海峡の四海峡によって外界と隔てられた内海であり、人や組織、さらに時代によってその定義は異なっている³⁾。また、瀬戸内の気候は温暖で「白砂青松」と呼ばれる風光明媚な景観と合わさり、多島海として世界的な美しさを持っている³⁾。

われわれにとって一番身近な物質は水と空気であろう。そしてわれわれの生命に最も関係深い物質である⁴⁾。そこで魅力溢れる瀬戸内の島に焦点を当て、本報では香川県直島における生活環境の根本を成す水道現況や空気環境について論じた。離島は一般的に水道料金が大きく⁵⁾、離島以外の水道料金の高い地域との比較等を行った。また、近年中国からの越境

汚染も報告が散見される光化学オキシダント（Ox）の季節変動を探った。

1. 直島について

瀬を早み 岩にせかる 滝川の

われても末に 逢はむとぞ思ふ

上記は、川瀬の流れが早いので岩にせきとめられた滝のように流れの早い川が、一度は左右に分かれても、やがて一緒になって流れるように、いま逢うことができない二人だが一緒になろうという在位が1123～1141年の第75代天皇だった崇徳上皇（1119年生）の恋の歌⁶⁾ともいわれる。「直島」という地名の由来については、約700年に渡る武家政権へ繋がるきっかけの一つとなった1156年の保元の乱で敗れた崇徳上皇が讃岐へと配流され上記の歌を残したが、讃岐への途中、この島に立ち寄ったことに因る。その際、島民たちの素朴さに心を打たれ、直島と命名したといわれる⁷⁾。

直島における戦国時代は、小規模ではあったが水軍の根拠地となり、高原左衛門が当地を支配した^{8, 9)}。古来「瀬戸内の海を制する者は、天下を制する」という言葉があるが¹⁰⁾、江戸時代には徳川直轄の天領となり倉敷代官が支配し、廻船業や製塩などが盛んになり瀬戸内の島々の中で重要な位置を占めた^{8, 9)}。

1918年に開設された三菱興業（現在の三菱マテリアル）の精錬所により、経済的には潤いもあったが、山肌がいたましいまでに禿げ、埋め立てられた海辺には白い石油タンクが並ぶ¹¹⁾。安藤忠雄（1941年生）が、1988年に初めて見た直島について「ほとんどハゲ山同然だった」と記載している⁷⁾。しかしながら、1985年に瀬戸内海を挟んで隣接する岡山県に本社を持つ福武書店（現在のベネッセ）社長の福武哲彦

¹ 東洋英和女学院大学大学院国際協力研究科

(1915年生)が直島町長の三宅親連(1908年生)と面会したことで直島がやがて芸術の島と称される転機になったと言われている¹²⁾。1992年には安藤忠雄によって設計されたベネッセハウスのミュージアムが完成された⁷⁾。現在は、“島全体がアートとなった瀬戸内海の芸術島”¹³⁾となった。

直島諸島は、香川県直島町および高松市に所属する27の島で構成されており、有人島は5島(直島、向島、屏風島、男木島、女木島)である。直島は、中世代の白亜紀後期(8,000~9,000万年前)の花崗岩から成り、面積は7.82km²、直島町人口統計によると、直島町における2014年4月1日の人口は3,136人¹⁴⁾である。また、2013年の統計によると、本土と結ばれていない離島の内、観光客数では1位の香川県小豆島112万人、2位の沖縄県石垣島97万に次いで3位となる71万人である。瀬戸内の島の中では3位となる香川県女木島が19万なので、小豆島と並び観光客数が圧倒的に多い。また、水産業生産額において瀬戸内の島で直島は上位の24億円(瀬戸内の島で1位は兵庫県・坊勢島の47億円)である¹⁴⁾。

2. 直島における水道現況

各国間の家庭のレヴェルでは、UNEP(国連環境計画)が2006年に行った調査によると、各国の家庭が1日あたりに使う水の量は、1位アメリカの575L、2位オーストラリアの495L、3位の日本375L、4位フランスの285Lとなっている¹⁵⁾。日本の375L(=0.375m³)は、ひと月を30日とすると1ヶ月当たり11.25m³の使用水量となる。

日本の水道水源には、陸地の表面にある地表水、地表水が浸透して浅い地中を流れる伏流水、井戸でくみ上げる地下水などがあり、その約7割を占めるのが地表水である¹⁶⁾。地表水の中には、河川水、ダム湖水、湖沼水と種類があり、更に種類が同じでも水源流域の地質等が違えば水質は異なってくる。

直島における水道の水源は、直島ダム(図1)および岡山県玉野市からの送水である¹⁷⁾。一般的に、離島は水源に乏しく、本土からの送水に頼る島が多い。直島は、香川県に属するが距離的に岡山県の方が近いので、送水は岡山県玉野市が担当し、海底導水管が敷かれている。玉野市から直島へは、1969年

から海底送水管により水が供給されてきたが、老朽化により給水能力が落ち、1979年に布設替えを行い現在は第2海底導水管を敷設し給水している。直島町は、2007年に上水道事業を廃止し、簡易水道事業へ移行する認可を受けた¹⁷⁾。上水道と簡易水道の違いについては、水道法第3条第2項において、給水人口101人以上に水道により水を供給する事業を「水道事業」と定義し、同法第3項において給水人口5,000人以下の水道を簡易水道と定義している。



図1 直島ダム

水道事業は各自治体が運営するため、事業者が持つ条件により水道料金が異なる。各自治体に豊かな水源があるか否か、更に水源の水質が良質であるか否か、また自治体が自己水源を持っているのか、あるいは水道企業団や他の事業者から受水しているのかが上水道のコストに反映される。更に、少ない給水人口が広い範囲に点在していれば、管を敷設する範囲が広がる等、さまざまな条件で水道の料金は変動する。例えば、水道料金(上水道と下水道)が最も高い地域の一つである北海道池田町では、1ヶ月あたり8m³までが2,160円である¹⁸⁾。池田町の場合、8m³までが基本料金となる。どこの自治体でも、水道料金は通増型料金となっており、使うほど高くなる仕組みとなっている。池田町は、基本料金を超えると1m³あたり259円が加算される。池田町の水道料金が高い理由については、以前は池田町が自己水源を持っていたが、水質の悪化や施設の老朽化で、現在は十勝中部広域水道企業団から受水し、有料で水を買っていることが挙げられる。企業団から受水している自治体の中には、自己水源を持ちな

がら不足分を受水している自治体と、池田町のように全てを受水している自治体がある。池田町は地域の範囲が広く、人口が少ないことが費用対効果を低くし、更に冬はマイナス20度にもなる寒冷地域であるため配水管やメーターは地面から深い位置に設置しなければならず、融雪設備も必要になると考えられる。

一方、水源の水質が良く、水質改善のための処理工程が少なく、造水コストが安い地域は水道料金が安くなる。例えば、山梨県富士河口湖町（10m³あたり335円）、静岡県小山町の場合、全国でも水道料金が安い地域であるが¹⁰⁾、富士山の裾野に位置し、雪解け水が豊富である等、水には恵まれている地域である。

直島町の水道経営状況は、大口需要家である三菱マテリアルの動向によるところが大きく、水道全有収水量のうち70%を工業用水が占めている。工業用水が多い場合は、水道収益は景気の動向に左右されやすい。水は「産業の血液」といわれているように、産業においては大量の水が使われる¹⁹⁾。現在のところ、直島は経常収支が高く、他の離島と比較して経営状態は健全である。企業債の残高も、経営に影響を与える比率は低く、経営の悪化につながる要因にはなっていない。しかしながら、日本においてはほとんどの市町村の給水人口が減少しており、水道料金収入の減少が見込まれるため、その点を考えて今後は水道ビジョンを策定する必要があるだろう。

直島町の水道普及率はほぼ100%であるが、今後については工業用水の増加、人口の増加について大きな期待はできないと考えられる。また、浄水場や配管等設備の老朽化への対応は必須であり、今後は企業債残高が増大する可能性もある。老朽化への対

策や耐震化は、今後も続くため、将来を予測し、適切な事業および今後の施策を考える必要がある。

香川県における2017年4月1日時点の家庭用20m³当たりの水道料金²⁰⁾を表1に示す。上水道料金は、1,500円以下から4,501円以上と自治体により格差が大きい。合計20の上水道事業者があり、20m³当たりの平均は3,350円である。簡易水道事業者は2件のみで直島町も含まれ、料金は20m³当たり3,501円から4,500円である。簡易水道の平均は4,034円であり、上水道事業者と比較すると若干高い。香川県全体では20m³当たりの水道料金の平均は3,412円で、全国平均よりも高い。20m³当たりの水道料金（2011年度）¹⁶⁾と比較してみると、前述の北海道池田町は6,242円で香川県は0.55倍、山梨県富士河口湖町は670円で香川県は5.1倍となっている。今後は離島において、施設の老朽化や少子化等の影響から水道料金は上がっていくと予測され、詳細に動向を追うべきであろう。

3. 直島における空気環境

春季から夏季の大気環境において、晴天時における太陽からの強い紫外線の影響で窒素酸化物（NOx）等の大気汚染物質の光化学反応が進行し、光化学スモッグが発生することがある。日本では、光化学大気汚染の対象物質をOxとしているが、オゾン（O₃）が大部分を占める。

表2に、この5年間（2013～2017年）における光化学スモッグ注意報発令の都府県別の延べ日数を示した。5年間では、埼玉および千葉が1年あたり11.6日の注意報発令の延べ日数であり、上位10位には首都圏（1都7県）が全て入る結果であった。また、21世紀中の17年間の上位10都府県と比べて⁴⁾、

表1 香川県における家庭用20m³当たりの水道料金²⁰⁾

料金	～1,500	1,501～ 2,000	2,001～ 2,500	2,501～ 3,000	3,001～ 3,500	3,501～ 4,000	4,001～ 4,500	4,501～	合計 (箇所)	平均 (円)
上水道	2	0	0	4	4	4	5	1	20	3,350
簡易水道	0	0	0	0	0	1	1	0	2	4,034
合計	2	0	0	4	4	5	6	1	22	3,412

この5年間では中国地方の岡山県が上位10都府県に入った。このように、光化学スモッグ注意報は首都圏を中心に発令されているが、昨今は中国大陸からの影響も報告される²¹⁾。

直島は香川県に属するが、フェリーの航路距離では、直島～高松（香川県）の18kmに対し、直島～宇野（岡山県）が3.5kmと岡山県に近い¹⁷⁾。この5年間で岡山県の光化学スモッグ注意報発令が多いことから、直島におけるOx濃度について解析にすることは重要である。解析の対象地は、直島町役場（北緯34.460度、東経133.996度、標高4m）とした。また、1年という単位は太陽を中心として地球が公転する周期だが、濃度の季節変動も太陽を中心として考えることがよりよく解析しやすいと考えられ、濃度の変動解析は科学的な太陽黄経による二十四節気別で行った。解析した時期は、2012年3月21日（春分点）から2015年3月20日までの3年間とした。2012年の春分の日（春分点）は3月20日であったが便宜上、3月21日を春分点とした。具体的な二十四節気の期間については、二十四節気別で解析した報告^{22, 23)}を参照されたい。解析に使用したデータは各自治体が設置している大気常時監視測定局の測定結果とした。また、欠損値は除外して解析を行った。また、首都圏の中心地である東京タワー（北緯35.659度、東経139.746度、標高25m、高度25m）との同時期の解析結果との比較を行った²⁴⁾。

表2 光化学スモッグ注意報発令の5年間（2013～2017年）の合計発令延べ日数

1位	埼玉県	58日
	千葉県	58日
3位	東京都	51日
4位	神奈川県	49日
5位	群馬県	38日
6位	岡山県	32日
7位	大阪府	29日
8位	茨城県	21日
9位	栃木県	20日
10位	山梨県	12日

その結果、直島のOx濃度の全平均値は26.4 ppbとなっている。参考として、東京タワーは26.0 ppbとなっている。また、1時間値の最高値としては、直島および東京タワーにおいてそれぞれ112 ppbお

よび162 ppbとなっている。Oxの環境基準は1時間値が60 ppb以上なので、調査した期間においては直島では環境基準を大幅に越えている。また、その濃度は光化学スモッグ注意報のレベル近くにまで達していることになる。また、表3にはOx濃度の1時間値の1日平均値の上位5日を記載した。表にはその日の二十四節気も併せて記載した。総じて、直島と東京タワーにおいては1日平均値の高濃度は同程度であった。直島では2012年5月18日に67.5 ppbとなっている。この日は東京タワーにおいても58.7 ppbと高く、二十四節気では立夏（5月5～20日）や清明（4月5～19日）の時季に特に高くなる傾向がわかった。

表3 調査期間におけるOx濃度（1時間値の1日平均値）の上位5日

直島			東京タワー		
2012.5.18	立夏	67.5 ppb	2014.6.1	小満	64.63 ppb
2012.4.5	清明	66.6 ppb	2013.5.6	立夏	64.58 ppb
2014.6.15	芒種	59.8 ppb	2013.8.11	立秋	59.2 ppb
2012.4.4	清明	57.6 ppb	2012.5.18	立夏	58.7 ppb
2012.5.6	立夏	56.8 ppb	2013.4.30	穀雨	57.4 ppb

直島および東京タワーにおける二十四節気別の濃度変動を図2に示す。直島および東京タワーにおいては平均濃度についてはほぼ同じであったが、その季節変動には違いが見られた。直島においては、最高値は立夏の36.7 ppb、最低値は小暑（8月23日～9月7日）の19.2 ppbとなっている。Ox濃度は気象条件からみれば北または西風が支配的である春季に高くなり、特に立夏の時季に高くなった。直島については第2のピークがあり、秋分（9月23日～10月7日）を中心に高くなる傾向であった。また、立春（2月4～18日）に第3のピークがあった。東京タワーについても立夏で最も高くなった。総じて梅雨前線が北上して南風が卓越する頃からOx濃度が低くなる。

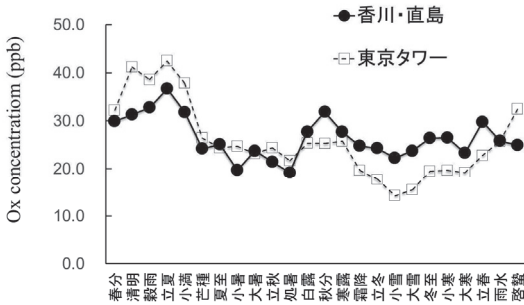


図2 香川県直島および東京タワーにおける二十四節気別の O_3 濃度（3年間の平均）

O_3 は総じて成層圏等からの沈降と、対流圏における光化学反応で生成されるが、直島の観測地点は標高が低いために、汚染地域で生成したものと考えられる。また、離島における O_3 濃度については、長崎・福江島では同じ時期の3年間で解析したところ、全平均値が39.9 ppbであり⁴⁾、新潟・佐渡島では同様に39.7 ppbであった²⁵⁾。 O_3 は総じて成層圏等からの沈降と、対流圏における光化学反応で生成される(図3)²⁶⁾。東京タワーは近くの汚染地域で生成したものと考えられ、日本の大きな離島の福江島や佐渡島における O_3 では「遠方の汚染地域で生成したものが長距離輸送されてきたもの」と考えられる。直島における O_3 が、越境汚染からの影響なのか、近くの汚染源なのかは今後ポテンシャルオゾン濃度の解析²⁷⁾等を通じて更に詳細に探求していくことが重要である。

おわりに

「変革の時代には誰が戦力になるか分かりませんが、美しいものを見たり、人の言葉や生き方に心を動かされたりした感動も、心に堆積して、生きていくエネルギーになります。」と安藤忠雄は朝日新聞の『仕事力』で述べ²⁸⁾、仕事に対してはそれに対する気迫が一番だと主張しているが、その安藤忠雄によって設計されたベネッセハウスを先駆けに、直島は“芸術の島”と称されるようになった。

筆者の一人(苗村)は、1994年9月24日に直島を初めて訪れた際には衝撃を受けた。当時(学生時代)、指導教官の影響から瀬戸内海沿岸部の森林衰退の研究活動を行っていたが³⁾、直島を一目見てそのハゲ山の情景に驚かされた。現在もそのような景観が見られるが、そんな中でも力強く成長していくマツなどの生命力も同時に感じられる。また、直島のハゲ山が緑で覆われる日が来ることを期待して、土壤改良から取り組んでいる人間の努力もある³⁰⁾。

産業革命以降、われわれ人間生活は飛躍的便利になったが、その一方で他の生命活動にマイナスな影響を与えている。時代と共にわれわれ人間生活も変革を求められるが、自然環境との共生なくして、われわれに未来はない。

21世紀は国際的に水利権を争い、わが国の将来としても少子高齢化社会とあいまって、水資源に関わる問題は重要視される。上水道と下水道の普及率を比べてみると、処理対象人口に対する比率で見た場合、上水道が全国平均ではほぼ100%に達しているのに、下水道は60%程度にとどまっている¹⁹⁾。2017年

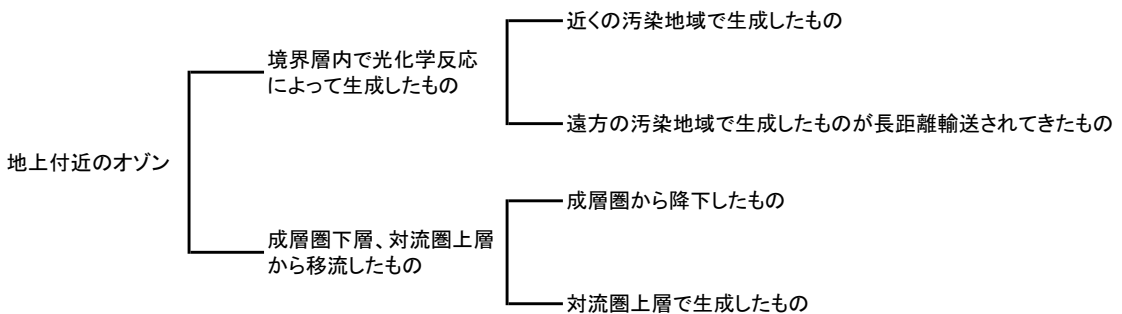


図3 地上付近に存在する O_3 の起源²⁶⁾

度末における全国の下水道処理人口普及率は78.8%で、香川県が44.8%の中、直島は93.6%と高い³¹⁾。しかしながら、瀬戸内の島の問題では2018年10月22日に発生した山口県周防大島（屋代島）と本土を結ぶ大島大橋と外国船衝突事故により橋梁が大きく損傷し、送水管も切断されたため、断水、大橋通行規制など甚大な被害が出ている³²⁾。このような事例もあり、離島における（上水道と下水道も含めて）水資源の問題は根が深い。

また、中国からの越境汚染で、長崎・福江島などが首都圏の中心地・東京タワーよりもOx濃度が高い傾向があるが、直島についても東京タワーと同じOx濃度レベルであった。直島にすぐ近い岡山県で光化学スモッグ注意報の発令が近年において延べ日数が多いことから、PM_{2.5}と共に注視すべき問題であろう。福島県ではO₃が高い時に、PM_{2.5}も連動している報告³³⁾がある。2015年7月31日に福島県では5年ぶりに光化学スモッグ注意報が発令されたが、首都圏由来のO₃等の大気汚染物質が福島県へ輸送されたものであり、解析の結果PM_{2.5}もO₃と高い相関がある。NOxからの二次汚染物質のO₃と共に、二次汚染物質の性質を持つPM_{2.5}が、越境汚染の影響で同時に高くなることも予測される。

風光明媚な瀬戸内の島々だが、それぞれの離島における生活環境で抱えている背景や問題を見過ごす訳にはいかない。瀬戸内の島で、人間と自然がどのように共生していくのか離島固有の伝統や魅力や人情を探りつつ、今後の水道料金の動向や越境汚染による光化学Oxの変動について客観視しつつ、離島における将来の文化や生活環境について様々な視点で掘り下げていくべきであろう。

参考文献

- 1) 堤之恭（2014）絵でわかる日本列島の誕生，181pp，講談社.
- 2) 柳哲雄（編）（1998）瀬戸内海の自然と環境，244pp，瀬戸内海環境保全協会.
- 3) 山口徹（編）（2001）瀬戸内諸島と海の道，248pp，吉川弘文館.
- 4) 苗村晶彦（2018）生活環境と酸素およびオゾン．In 現代公益学会（編）公益叢書第六輯 公益法人・NPO 法人と地域，232pp，文眞堂．201-217.
- 5) 沖大幹（監修）（2012）水の日本地図，110pp，朝日新聞出版.
- 6) 野ばら社（編）（1986）百人一首，222pp，野ばら社.
- 7) 秋元雄史・安藤忠雄ほか（2006）直島 瀬戸内アート，111pp，新潮社.
- 8) 木原溥幸・和田仁（編）（2001）讃岐と金毘羅道，266pp，吉川弘文館.
- 9) 加藤庸二（2013）日本島図鑑改訂第2版，383pp，新星出版社.
- 10) 森本繁（2008）村上水軍全史，295pp，新人物往来社.
- 11) 緑川洋一・岡谷公二・古茂田不二（1991）瀬戸内海 島めぐり，111pp，新潮社.
- 12) 清水李太郎・坂井猛（2017）アートサイト直島にみる社会的広域圏形成プロセスの展開，都市政策研究，18，127-141.
- 13) 山と溪谷社（編）（2006）地図帳 日本の島100，255pp，山と溪谷社.
- 14) 日本離島センター（編）（2017）2015離島統計年報，CD-ROM 版，日本離島センター.
- 15) 吉村和就（2009）水ビジネス—110兆円水市場の攻防，174pp，角川書店.
- 16) 千賀裕太郎（監修）（2013）ゼロから理解する水の基本，159pp，誠文堂新光社.
- 17) 直島町環境水道課（2008）直島町水道事業基本計画
<http://www.town.naoshima.lg.jp/kurashi/suido/c11000023/i209.files/sb.pdf>（2018年11月16日閲覧）
- 18) 池田町役場：水道

- <http://www.town.hokkaido-ikeda.lg.jp/kurashi/jogesuido/suido/4059.html> (2018年12月20日閲覧)
- 19) 岡崎稔・鈴木宏明 (2003) 調べてみよう 暮らしの水・社会の水, 193pp, 岩波書店
 - 20) 香川県 (2017) 香川県水道ビジョン
https://www.pref.kagawa.lg.jp/content/etc/web/upfiles/wnfhc171227094140_f01.pdf (2018年12月21日閲覧)
 - 21) 大原利眞・鶴野伊津志・黒川純一・早崎将光・清水厚 (2008) 2007年5月8、9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染—オーバービュー—, 大気環境学会誌, 43, 198-208.
 - 22) 苗村晶彦・渡邊善之 (2015) 神奈川県茅ヶ崎市における二十四節気別の NO_2 濃度, 戸板女子短期大学研究年報, 58, 33-37.
 - 23) 苗村晶彦・福岡義隆 (2017) 太陽黄経による季節区分と大気環境の問題, 戸板女子短期大学研究年報, 60, 55-64.
 - 24) Naemura, A., Nakamura, K. and Fukuoka, Y. (2017) Oxidant concentration by the solar term in Minami-Aizu mountainous region, Fukushima Prefecture, Japan, Symposium on Atmospheric Chemistry & Physics at Mountain Sites, Abstracts, pp.61.
 - 25) 苗村晶彦 (2018) 首都圏および離島におけるオゾン. 第29回公益財団法人平岡環境科学研究所研究会発表会講演要旨集, 2.
 - 26) 溝口次夫・光本茂記・西川雅高 (1989) 日本列島を覆う対流圏下層オゾンの動態に関する研究. 環境科学会誌, 2, 87-99.
 - 27) 苗村晶彦・渡邊善之 (2016) 東京タワーにおける季節別の夜間高 NO_2 濃度とポテンシャルオゾン濃度, 日本生気象学会雑誌, 53, 39-44.
 - 28) 安藤忠雄 (2011) 仕事力—君の原動力は見つかったか?— 心の中の不況を追い出せ. 朝日新聞, 2011年2月20日13版26面.
 - 29) 中根周歩・苗村晶彦 (1994) 大気汚染とマツ・広葉樹の被害— NO_2 を指標として, 水, 36-8, 30-33.
 - 30) 増田拓朗 (2009) 直島北部地域のハゲ山緑化に関する研究, 香川大学環境報告書, 2009, 14-15.
 - 31) 日本下水道協会: 都道府県別の下水処理人口普及率
<https://www.jswa.jp/sewage/qa/rate/> (2018年12月26日閲覧)
 - 32) 周防大島: 大島大橋関連情報
http://www.town.suo-oshima.lg.jp/soumu/oohashi_kanren_1_.html (2018年12月4日閲覧)
 - 33) 渡邊善之・村野瑞樹・富岡秀太・佐藤暁久・苗村晶彦・渡邊明 (2018) 福島県におけるオゾン高濃度時の $\text{PM}_{2.5}$ の特徴、第25回大気環境学会北海道東北支部学術集会講演要旨集
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbncqc2FlaG9ra2FpZG90b2hva3V8Z3g6MjM1MDc3NzcyMDk5ZmY2Nw> (2018年11月9日閲覧)

